

ПРИБЛИЖЕННЫЙ РАСЧЕТ ПОВТОРНО-КРАТКОВРЕМЕННОГО РЕЖИМА РАБОТЫ ЦИКЛИЧНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПРИВОДА

Нейман Л.А., Нейман В.Ю.

Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск, Россия, neyman@ngs.ru

Аннотация — Рассматривается упрощенная методика расчета циклического электромагнитного ударного привода, обеспечивающего из условия допустимого нагрева для различных условий охлаждения в повторно-кратковременном режиме работы заданную частоту или энергию удара, обусловленную рабочим процессом.

Ключевые слова — электромагнитный синхронный электропривод, циклический нагрев, энергия и частота удара, повторно-кратковременный режим работы, условия охлаждения.

Широкое применение в промышленности находят технологические процессы, механизация которых осуществляется устройствами, генерирующие большие по величине и кратковременные по длительности усилия.

Для реализации данных технологий одним из направлений в развитии подобных устройств получили силовые электромагнитные импульсные системы, созданные на основе линейного электромагнитного двигателя [1, 2].

Применение данного типа устройств может обеспечивать некоторые экономические выгоды, обусловленные тем, что процесс преобразования электрической энергии в механическую работу осуществляется без промежуточных звеньев, что упрощает кинематическую схему и снижает массогабаритные показатели устройств.

Возможность более точного учета конструктивных параметров электромагнитных двигателей и границ их рационального применения позволяет сегодня повысить эффективность их использования для ударных технологий [3-6].

Возвратно-поступательное движение ударной массы – бойка электромагнитного двигателя осуществляется в циклическом режиме синхронно с поступающими на катушку двигателя импульсами напряжения питающего источника. Рабочий процесс электромагнитных устройств может характеризоваться различной частотой срабатывания (ударов) и продолжительностью включений.

В проводимых исследованиях рассматривается циклический повторно-кратковременный режим работы электропривода, который характеризуется продолжительностью включения ПВ%, и частичным прерыванием технологического процесса [7].

Использование данного режима обеспечивает увеличение ударной мощности, которая может

существенно превышать значение этой мощности для продолжительного режима.

При повторно-кратковременном режиме работы электропривода подводимая мощность состоит из интервалов «работа – пауза» с установленными стандартными значениями ПВ% в десятиминутном цикле

$$ПВ\% = \frac{T_p}{T_p + T_{\Pi}} \cdot 100\% = \frac{T_p}{T_{\Sigma}} \cdot 100\%,$$

где T_p , T_{Π} и T_{Σ} – продолжительность времени работы, паузы и цикла при ПВ%.

Для электромагнитных машин ударного действия предпочтительные номинальные значения продолжительности включения ПВ% ГОСТ-ом строго не регламентируются и при повторно-кратковременных режимах работы эти значения принимают 15, 25, 40 и 60 % в десятиминутном рабочем цикле. Данная мера позволяет дополнительно увеличить ударную нагрузку электропривода и сохранить тепловую нагрузку на допустимом уровне.

В исследованиях показано, что при ограничении продолжительности включения электропривода на уровне ПВ = 60, 40, 25 и 15%, при отношении времени десятиминутного цикла к постоянной времени нагрева на уровне $600/T_0 = 1$, обеспечивает по отношению к режиму с ПВ = 100% увеличение допустимой энергии или частоты ударов соответственно в 1,4; 1,9; 2,9 и 4,5 раза. С увеличением постоянной времени нагрева кратность увеличения допустимой энергии и частоты ударов возрастает.

В качестве допущений принимается, что электропривод является однородным телом с равномерно распределенным источником теплоты и с идеальной теплопроводностью, т.е. перепад температуры по сечению двигателя равен нулю; коэффициент теплоотдачи в процессе нагрева и охлаждения не зависит от превышения температуры теплоотдающей поверхности над температурой окружающей среды; также не учитывается изменение активного сопротивления катушки при нагреве, т.е. принимается, что мощность тепловыделений в процессе нагрева не меняется.

Правомерность используемых допущений соответствует решаемой задаче – приближенного расчета.

Коэффициент тепловой перегрузки по мощности в десятиминутном цикле при повторно-кратковременном режиме работы может быть представлен в виде [8, 9]

$$k_p = \frac{1 - e^{-\frac{600}{T_0}}}{1 - e^{-\frac{ПВ\% \cdot 600}{100\% \cdot T_0}}}$$

В повторно-кратковременном режиме в период паузы условия охлаждения электропривода могут отличаться от условий охлаждения в период работы. Вследствие этого постоянная времени нагрева при работе T'_0 и паузе T''_0 также различны.

В зависимости от интенсивности процесса охлаждения в различные периоды времени разница в определении постоянных времени нагрева при работе и в период паузы может отличаться в два и более раз.

Точность в расчетах можно повысить, если для режима с ПВ% принять

$$k'_p = \frac{1 - e^{-\left(\frac{T_p}{T'_0} + \frac{T_n}{T''_0}\right)}}{1 - e^{-\frac{T_p}{T'_0}}}$$

Тогда в десятиминутном рабочем цикле с ПВ%, полагая, что $T_p = \frac{ПВ\%}{100\%} \cdot T_{ц}$ и $T_n = \left(1 - \frac{ПВ\%}{100\%}\right) \cdot T_{ц}$ получим

$$k'_p = \frac{1 - e^{-\left[\frac{ПВ\% \cdot 600}{100\% \cdot T'_0} + \left(1 - \frac{ПВ\%}{100\%}\right) \frac{600}{T''_0}\right]}}{1 - e^{-\frac{ПВ\% \cdot 600}{100\% \cdot T'_0}}},$$

и предельно-допустимая энергия удара, и частота ударов определится [9]

$$A_{уд} = \frac{60 \eta k_T (\vartheta_{доп} - \vartheta_0) S_{п}}{n_{уд} (1 - \eta)} \cdot k'_p,$$

$$n_{уд} = \frac{60 \eta k_T (\vartheta_{доп} - \vartheta_0) S_{п}}{A_{уд} (1 - \eta)} \cdot k'_p,$$

где k_T - коэффициент теплоотдачи с поверхности охлаждения; $\vartheta_{доп}$ - допустимая по условию нагрева температура электропривода; ϑ_0 - температура окружающей среды; $S_{п}$ - теплоотдающая поверхность; $A_{уд}$ - энергия единичного удара; $n_{уд}$ - частота ударов в минуту; η - к.п.д. электромагнитного двигателя.

Для сравнения на рис. 1 приведены относительные зависимости $\frac{k_p}{k'_p} = f\left(\frac{T''_0}{T'_0}\right)$ для предпочтительных

значений ПВ%. Исследование зависимостей (рис. 1) показывает, что для различных условий охлаждения при работе и паузе перегрузочная способность электропривода падает.

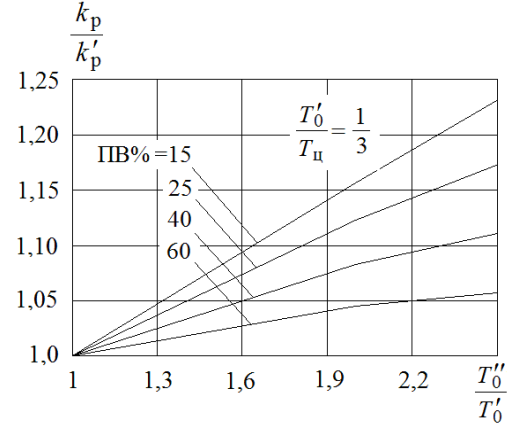


Рис. 1. Зависимости $\frac{k_p}{k'_p} = f\left(\frac{T''_0}{T'_0}\right)$ для различных значений ПВ%

Так, например, при ПВ=15% и различных условиях интенсификации способа охлаждения при работе и в период паузы $T''_0/T'_0 = 1,65$ перегрузочная способность электропривода уменьшается в 1,1 раза, что означает фактическое снижение ударной мощности приблизительно на 10%.

Для иллюстрации возможности использования расчетных соотношений в инженерной практике рассмотрен пример упрощенного расчета синхронного ударного электропривода приведенного на рис. 2.

Возвратно-поступательное движение бойка осуществляется под действием электромагнитных сил катушек прямого и обратного хода, питаемых по однополупериодной схеме выпрямления от источника напряжения промышленной частоты 50 Гц. Работа электропривода осуществляется в повторно-кратковременном режиме с относительной продолжительностью включения ПВ = 25%. Допустимая по условиям нагрева температура составляет $\vartheta_{доп} = 150^\circ C$, температура окружающего

воздуха $\vartheta_0 = 30^\circ C$. Для увеличения поверхности охлаждения объем каждой катушки с массой обмоточного провода $m_m = 0,35$ кг разделен на ряд секций, изолированных друг от друга воздушными коаксиальными каналами с активной поверхностью охлаждения катушки $S_{п} = 213 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$. В режиме принудительной вентиляции поперечным потоком сухого воздуха коэффициент теплоотдачи с поверхности катушек $k_{T1} = 48 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, при отключенной вентиляции $k_{T2} = 10 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$. Масса

электромагнитного двигателя $m_{дв} = 2,4$ кг (масса механического инерционного преобразователя не включена). Коэффициент полезного действия электромагнитного двигателя $\eta = 0,31$.

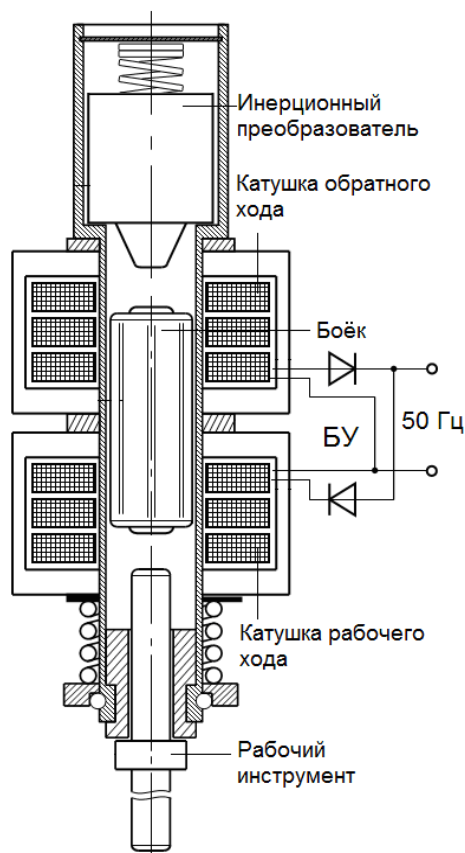


Рис. 2. Синхронный электромагнитный ударный привод

Как следует из условия примера, при первом способе охлаждения, принудительная вентиляция ударного узла осуществляется в течение времени цикла «работа – пауза». При втором способе – принудительная вентиляция ударного узла предусмотрена только на интервале времени «работа».

Для первого способа охлаждения электропривода: постоянная времени нагрева $T_0 = 133,5$ с, допустимая из условия нагрева энергия удара $A_{уд} = 3,23$ Дж, полезная мощность ударного узла при синхронной частоте ударов $n_{уд} = \frac{60f}{2p} = 60 \cdot 50 = 3000$ уд/мин будет составлять $P_{уд1} = 161,5$ Вт.

Для второго способа охлаждения электропривода: постоянная времени нагрева на интервале времени «работа» аналогичная первому способу охлаждения $T'_0 = 133,5$ с, на интервале «пауза» необходимо дополнительно учесть влиянием при отдаче тепла стальным элементам $T''_0 = 1157$ с, допустимая из условия нагрева энергия удара $A_{уд} = 2,55$ Дж, полезная мощность ударного узла составит $P_{уд2} = 127,5$ Вт.

Из этого следует, что при первом способе охлаждения электропривода полезная ударная мощность может быть увеличена в 1,27 раза, так как отношение этих мощностей составляет

$$\frac{P_{уд1}}{P_{уд2}} = \frac{161,5}{127,5} = 1,27.$$

Полученные зависимости энергии и частоты удара от параметров, характеризующих режим работы электропривода и условия его охлаждения, могут быть использованы как при разработке циклических ударных электроприводов, так и для управления их тепловой нагрузкой при повторно-кратковременном режиме работы и различных условиях охлаждения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Угаров Г.Г. Анализ показателей электромагнитных ударных машин / Г.Г. Угаров, В.Ю. Нейман // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых, 1996, № 2, с. 72 – 80.
2. Патент РФ № 2127017 МКИ 6 H02 K 33/02. Способ управления однообмоточным линейным электромагнитным двигателем ударного действия. Угаров Г.Г., Нейман В. Ю., Усанов К.М. Зарегистрировано 27.02.1999. Приоритет от 21.11.1995. Заявка № 95119633/09; Опубл. 27.02.99, Бюл. №6. – 4 с.
3. Нейман Л.А. К вопросу учета главных размеров при выборе типа электромагнита по значению конструктивного фактора / Нейман Л.А., Нейман В. Ю., Петрова А. А., Скотников А. А., Рогова О. В. // Электротехника, 2011, № 6, с. 50–53.
4. Нейман В.Ю. О методике выбора типа электромагнита по значениям конструктивного фактора / В.Ю. Нейман, Л.А. Нейман, А.А. Петрова // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока: Научный журнал. – Новосибирск: Изд-во ФГПО ВПО НГавт, 2011, №2, с. 310-313.
5. Нейман Л. А. К оценке выбора типа электромагнита по значению конструктивного фактора / Л.А. Нейман, А.А. Петрова, В.Ю. Нейман // Изв. вузов. Электромеханика, 2012, № 6, с. 62 – 64.
6. Нейман В.Ю. Сравнение геометрически подобных систем электромагнитов по условию постоянства теплового критерия / Нейман В.Ю., Нейман Л.А., Петрова А.А. // Электротехника, 2011, № 12, с. 14 -16.
7. Нейман В.Ю. Исследование нагрева электромагнитного двигателя в переходных режимах / Л.А. Нейман, А.А. Скотников, В.Ю. Нейман // Изв. вузов. Электромеханика, 2012, № 6, с. 50 – 54.
8. Гордон А.В., Сливинская А.Г. Электромагниты постоянного тока. - М.-Л.: Госэнергоиздат, 1960. – 447 с.
9. Угаров Г.Г. К оценке режимов работы электромагнитных ударных машин / Г.Г. Угаров, В.Ю. Нейман // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых, 1996, №4, с. 72 – 80.